

MENU

SEARCH

INDEX

DETAIL

JAPANESE

1 / 1

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-231630

(43)Date of publication of application : 29.08.1995

(51)Int.Cl.

H02K 17/18

(21)Application number : 06-040606

(71)Applicant : JAPAN SERVO CO LTD

(22)Date of filing : 16.02.1994

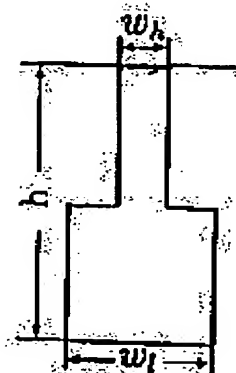
(72)Inventor : YOKOZUKA TSUTOMU  
TAKATSUKI TAKASHI  
IKEDA SHINJI

## (54) SQUIRREL-CAGE ROTOR OF INDUCTION MOTOR

## (57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a squirrel-cage rotor which utilizes a skin effect even in a small motor by establishing the computation method of a factor expressing the skin effect of a double squirrel-cage rotor or the like.

CONSTITUTION: By a technique which computes a factor expressing a skin effect due to the conductor shape of a squirrel-cage rotor, a maximum resistance increase factor is obtained by the position of a constricted part in a double squirrel-cage rotor, and a maximum resistance increase factor is obtained by changing the ratio of the width  $W_h$  of an upper-side conductor to the width  $W_l$  of a lower-side conductor and by changing a position which is changed to the upper-side conductor from the lower-side conductor in the conductor shape of an inverted T-shaped conductor in which the width  $W_h$  of the upper-side conductor is formed to be narrower than the width  $W_l$  of the lower-side conductor.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.10.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3083227

[Date of registration] 30.06.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-231630

(43) 公開日 平成7年(1995)8月29日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 2 K 17/18

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平6-40606

(22) 出願日 平成6年(1994)2月16日

特許法第30条第1項適用申請有り 平成5年12月9日、  
社団法人電気学会主催の「電気学会回転機研究会」にお  
いて文書をもって発表

(71) 出願人 000228730

日本サーボ株式会社

東京都千代田区神田美土代町7

(72) 発明者 横塚 勉

群馬県桐生市相生町3-93 日本サーボ株  
式会社桐生工場内

(72) 発明者 高月 崇史

群馬県桐生市相生町3-93 日本サーボ株  
式会社桐生工場内

(72) 発明者 池田 真治

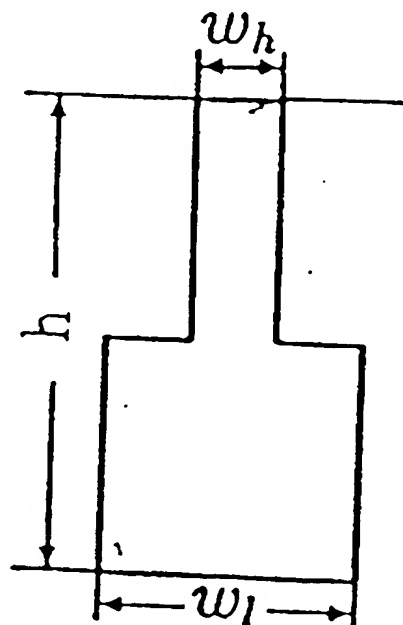
群馬県桐生市相生町3-93 日本サーボ株  
式会社桐生工場内

(54) 【発明の名称】 誘導電動機のかご形回転子

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 二重かご形回転子等の表皮効果を表す係数の  
計算方法を確立し、小形電動機においても表皮効果を利用  
したかご形回転子を得る。

【構成】 かご形回転子の導体形状による表皮効果を表  
す係数を計算する手法により、二重かご形回転子におい  
てはくびれ部の位置により最大の抵抗増加係数を、又、  
上側導体の巾 $W_h$ が下側導体の巾 $W_l$ より狭く形成され  
た逆T形導体の導体形状においては上側導体の巾 $W_h$ と  
下側導体の巾 $W_l$ との比及び下側導体より上側導体に移  
行する位置を変化させて最大の抵抗増加係数を得るよう  
に構成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 誘導電動機のかご形回転子で、回転子鉄芯の外周近傍に設けた溝内に設けた導体の断面形状が、回転子外周の近くにある上側導体の巾が狭く、該上側導体と接続し上側導体より回転子の中心近くにある下側導体の巾が広く形成された逆 T 形をなすもので、上記上側導体の巾  $W_h$  と上記下側導体の巾  $W_l$  との比  $W_h/W_l$  の値を 0.2 以下となるようにした事を特徴とするかご形回転子。

【請求項 2】 導体の巾が広い下側導体より巾の狭い上側導体に移行する位置を上側導体と下側導体の合計の高さ  $h$  に対し 0.2  $h$  より 0.7  $h$  の範囲とした事を特徴とする請求項 1 に記載のかご形回転子。

【請求項 3】 誘導電動機のかご形回転子で、回転子鉄芯の外周近傍に設けた溝内に設けた導体の断面形状が、回転子外周の近くにある上側導体と、回転子の中心近くにある下側導体と、上側導体と下側導体との間に導体の巾より狭い空隙のくびれ部を有する二重かご形回転子において、導体の巾  $W$  とくびれ部の巾  $W_n$  との比  $W/W_n = 2.0$  とし、導体の高さ  $h$  に対しくびれ部の高さ  $h_n$  を 0.8  $h$  より 0.9  $h$  となるようにしたことを特徴とする誘導電動機のかご形回転子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、誘導電動機のかご形回転子に係り、特に始動時の特性を改良できるかご形回転子に関する。

【0002】

【従来の技術】 かご形回転子を有する誘導電動機は構造が簡単で堅牢であり信頼性が高いことから用途が広く、多数使用されている。しかし、この電動機は一般に定常運転特性に重点をおくために、始動特性を犠牲にせざるをえないという問題がある。この対策として従来より表皮効果を利用した特殊かご形回転子を使用する例が図 10 に示されており、その一例として実開昭 57-170650 号、或いは実開昭 62-68468 号等に二重かご形回転子の例等が開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかし従来技術になる二重かご形回転子の構造においては表皮効果を発揮するためには回転子導体の高さ  $h$  を大きくする必要があり 5.5 KW 以下の小形機への適用は困難であった。本発明は上記のような従来技術で困難であった 5.5 KW 以下の小形機に適用して表皮効果を効果的に発揮できるかご形回転子を得るのが目的である。

【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明の発明者は、小形電動機においては回転子の導体高さ  $h$  を大きくとれないので、其の表皮効果の計算法を既報のものについて調査し、さらに  $h$  の小さい小形機の回転子についての表皮効

果を一般的に求める手段を研究して社団法人電気学会の研究会（平成 5 年 12 月 9 日）に発表し、其の研究成果を利用して下記のような手順により課題を解決するものである。

(1) かご形回転子の種々の導体断面形状について電流分布、及び表皮効果を表す係数である抵抗の増加係数  $K_r$  及びインダクタンスの減少係数  $K_x$  を一般的に求める方法を得る。

(2) 各種の導体形状の  $K_r$  及び  $K_x$  を比較してその特徴を明らかにし、表皮効果を有効に起こさせる条件を求める。

【0005】 上記の手順により解析を行ない (1) については導体を半径方向に  $N$  分割し、分割された各導体電流の実数部と虚数部を求め、これから分割された導体一本の等価抵抗と、等価リアクタンスを計算し、其の抵抗の増加率  $K_r$  とリアクタンスの減少率  $K_x$  を求めるもので、導体形状が複雑な場合でも適用可能である。

【0006】 (2) においては二重かご形、円形導体、台形導体、下側導体の幅が広く上側導体の幅が狭い逆 T 形等各種導体形状の  $K_r$ 、 $K_x$  を求め、特に表皮効果の大きい二重かご形及び逆 T 形について最適形状を求める。

【0007】 (3) 二重かご形回転子においては、下側導体の幅  $W$  とくびれ部の幅  $W_n$  の比  $W/W_n = 2.0$  とした場合に導体の高さ  $h$  に対しくびれ部の位置  $h_n$  を 0.8  $h$  より 0.9  $h$  となる位置とする。

【0008】 (4) 逆 T 形の導体の回転子においては、下側導体の幅  $W_l$  と上側導体の幅  $W_h$  の比  $W_h/W_l = 0.2$  以下とした場合に幅の狭い上側導体に移る位置  $h_n$  を導体全部の高さ  $h$  に対し 0.2  $h$  より 0.7  $h$  となるようにする。

【0009】

【作 用】 上記の手順により解析した結果、二重かご形においては上側導体と下側導体との間に設けたくびれ部の位置を変化させると表皮効果を効果的に増加させることが出来る位置が見出され、逆 T 形の場合には上側導体の幅と下側導体の幅の比を変化させると、導体高さ  $h$  が小さいときでも大きな表皮効果が得られることが分かり、算定結果より  $h$  の小さい小形電動機にも適用出来る二重かご形と逆 T 形の導体を備えたかご形回転子が得られる。

【0010】

【実施例】 先ず回転子の等価インピーダンスの計算法について述べる。図 3 は回転子の 1 溝について矩形断面の導体の電流と鎖交する磁束との関係を模式的に示す図で、導体と溝の間に間隙は無いものとする。以下の説明に使用する主な記号は次の諸量を示すものとする。

$h$  : 導体高さ、cm

$h_n$  : くびれ部位置

$W$  : 導体巾、cm

$W_n$  : くびれ部空隙長、cm

$m$

$W_h$  : 上部導体の巾、cm

$W_l$  : 下部導体の巾、cm

N: 導体分割数      ドット  $I_n$ : 第n番目の導体  
 電流 (複素数表示) A  
 $f$ : 電源周波数, Hz       $r$ : 1分割導体の抵抗,  $\Omega$   
 $x$ : 1分割導体の漏れ磁束によるリアクタンス,  $\Omega$   
 $Kr$ : 抵抗増加係数       $Kx$ : インダクタンス減少係数  
 $D$ : 円形導体の直径, cm       $G$ : 台形導体の勾配  
 図3に示した導体に流れる電流を計算するため、導体を半径方向にN分割し、分割した各導体について電流と電

圧との関係の方程式を成立させて各導体毎の電流を求めるもので計算法を簡単に示すために分割数  $N=4$  とする。図3は下から2番目の導体、即ち第2導体に複素数表示の電流ドット  $I_2$  が流れたときの漏れ磁束を示したものである。溝の中の漏れ磁束は水平に通り、鉄芯の透磁率は無限大とする。図3の分割した各導体における電流と、電圧の関係を求めると、  
 【数1】

$$E = \dot{I}_1 r + 3.5 j \dot{I}_1 x + 2.5 j \dot{I}_2 x + 1.5 j \dot{I}_3 x + 0.5 j \dot{I}_4 x \quad \text{----- (1)}$$

$$E = \dot{I}_2 r + 2.5 j \dot{I}_2 x + 1.5 j \dot{I}_3 x + 0.5 j \dot{I}_4 x + 2.5 j \dot{I}_1 x \quad \text{----- (2)}$$

$$E = \dot{I}_3 r + 1.5 j \dot{I}_3 x + 0.5 j \dot{I}_4 x + 1.5 j (\dot{I}_1 + \dot{I}_2) x \quad \text{----- (3)}$$

$$E = \dot{I}_4 r + 0.5 j \dot{I}_4 x + 0.5 j (\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3) x \quad \text{----- (4)}$$

の(1)～(4)式が得られる。

【数1】これらの式のEは導体1本の電圧で、(1)式は図3の最下層の導体、即ち第1導体で成立する関係式であり、(2)式は第2導体で成立する関係式である。

【0011】(1)式の右辺第2項は第1導体と、複素数表示の電流ドット  $I_1$  による第1導体による第1導体中央より上側を通る漏れ磁束との鎖交によって誘導される電圧であり、自己インダクタンスによる電圧と考える事が出来る。尚、第2項の係数3.5は、第1導体の電流ドット  $I_1$  による漏れ磁束が上側の3.5本分の導体

を通るとしたものである。右辺第3項から第5項は相互誘導による電圧である。

【0012】(2)式は第2導体の電圧式で、右辺第2項は自己インダクタンスによる電圧、即ち、図3の  $\phi_2$ ,  $\phi_3$ ,  $\phi_4$  による電圧である。第3項以降は相互誘導による電圧で、第5項はドット  $I_1$  によって第2導体の中央より上側を通る漏れ磁束による電圧である。

(1)式から複素数表示の電流ドット  $I_1$  を求めると  
 【数2】

$$\dot{I}_1 = \frac{E - j (2.5 \dot{I}_2 + 1.5 \dot{I}_3 + 0.5 \dot{I}_4) x}{r + 3.5 j x} = \left[ \left\{ E + (2.5 I_{2j} + 1.5 I_{3j} + 0.5 I_{4j}) x \right\} r - 3.5 (2.5 I_{2R} + 1.5 I_{3R} + 0.5 I_{4R}) x^2 \right] / (r^2 + 3.5^2 x^2) \\ - j \left[ \left\{ 3.5 x \left\{ E + (2.5 I_{2j} + 1.5 I_{3j} + 0.5 I_{4j}) x \right\} + (2.5 I_{2R} + 1.5 I_{3R} + 0.5 I_{4R}) x r \right\} / (r^2 + 3.5^2 x^2) \right] \equiv I_{1R} + j I_{1j} \quad \text{----- (5)}$$

同様に  $\dot{I}_2$ ,  $\dot{I}_3$ ,  $\dot{I}_4$  は

のように示される。

【数2】

【0013】同様に複素数表示の電流ドット  $I_2$ , ドッ

ト  $I_3$ , ドット  $I_4$  は

【数3】

$$\dot{I}_2 = \frac{E - j(1.5\dot{I}_3 + 0.5\dot{I}_4 + 2.5\dot{I}_1)x}{r + 2.5jx} = [ \{ (E + (1.5I_{3J} + 0.5I_{4J} + 2.5I_{1J})x) r - 2.5(1.5I_{3R} + 0.5I_{4R} + 2.5I_{1R})x^2 \} / (r^2 + 2.5^2x^2) ] - j [ \{ 2.5x \{ E + (1.5I_{3J} + 0.5I_{4J} + 2.5I_{1J})x \} + (1.5I_{3R} + 0.5I_{4R} + 2.5I_{1R})xr \} / (r^2 + 2.5^2x^2) ] \equiv I_{2R} + jI_{2J} \quad (6)$$

$$\dot{I}_3 = \frac{E - j(0.5\dot{I}_4 + 1.5\dot{I}_1 + 1.5\dot{I}_2)x}{r + 1.5jx} = [ \{ (E + (0.5I_{4J} + 1.5I_{1J} + 1.5I_{2J})x) r - 1.5(0.5I_{4R} + 1.5I_{1R} + 1.5I_{2R})x^2 \} / (r^2 + 1.5^2x^2) ] - j [ \{ 1.5x \{ E + (0.5I_{4J} + 1.5I_{1J} + 1.5I_{2J})x \} + (0.5I_{4R} + 1.5I_{1R} + 1.5I_{2R})xr \} / (r^2 + 1.5^2x^2) ] \equiv I_{3R} + jI_{3J} \quad (7)$$

$$\dot{I}_4 = \frac{E - 0.5j(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3)x}{r + 0.5jx} = [ \{ (E + 0.5(I_{1J} + I_{2J} + I_{3J})x) r - 0.5^2(I_{1R} + I_{2R} + I_{3R})x^2 \} / (r^2 + 0.5^2x^2) ] - j [ \{ 0.5x \{ E + 0.5(I_{1J} + I_{2J} + I_{3J})x \} + 0.5(I_{1R} + I_{2R} + I_{3R})xr \} / (r^2 + 0.5^2x^2) ] \equiv I_{4R} + jI_{4J} \quad (8)$$

のように示される。

【数3】

【0014】各電流の式に  $r$ ,  $x$ ,  $E$  を与えて逐次代入法〔参考文献4: 中山, “電子計算機と数値解析”, 槓書店, P.2(昭和41.1)〕で繰返し計算して、各導体の電流ドット  $I_1$  乃至ドット  $I_4$  が求められる。電流の計算で

$$I_R = I_{1R} + I_{2R} + I_{3R} + I_{4R} \quad (9)$$

$$I_J = I_{1J} + I_{2J} + I_{3J} + I_{4J} \quad (10)$$

$$\dot{Z}_e = \frac{E}{I_R + jI_J} \equiv K_r R_0 + jK_x X_0 \quad (11)$$

に示した(9), (10)式で計算して、表皮効果を考慮した複素数表示の等価インピーダンス、ドット  $Z_e$  は(11)式で求める事が出来る。

【数4】ただし、 $R_0$ ,  $X_0$  は夫々表皮効果が無いとしたときの抵抗とリアクタンスである。図3では導体分割数  $N=4$  として(5)より(11)式で計算し  $K_r$  と  $K_x$  を求めたが、更に精度を高めるために、以後の計算は  $N=20$  として  $K_r$ ,  $K_x$  を計算する。

【0015】次に二重かご形回転子の  $K_r$ ,  $K_x$  の計算方法について述べる。従来より二重かご形回転子の計算方法は開示されていなかったが、前述の矩形導体の場合の計算方法を図2に示す二重かご形回転子に適用し、上側導体と下側導体の間のくびれ部の最適位置、二重かご形とすることの効果等を検討する。図2においてくびれ部の空隙長を  $W_n$ 、くびれ部から上の導体高さを  $h_1$ 、くびれ部の高さを  $h_2$  とする。 $h_2$  と全導体高さ  $h$  との比  $h_2/h=0.05$ 、くびれ部の空隙長  $W_n=0.1$  cm、

は、ドット  $I_1$  乃至ドット  $I_4$  の初期値を零とし、電流の修正は前回の値に対し  $1/2$  の割合で修正を繰り返した。このように修正の比率を低くとったのは安定して収束させるためである。導体1本の電流の実数成分  $I_R$  と虚数成分  $I_J$  とに分けて

【数4】

導体の幅  $W=1$  cm と一定に保ち、 $h=8$  cm,  $6$  cm,  $4$  cm,  $2$  cm の場合について、くびれ部の位置を分割した導体の下側より位置  $h_n$  の番号を変えたときの  $K_r$  と  $K_x$  を求め夫々図4と図5に示してある。両図において横軸のくびれ部位置  $h_n$  の数値は分割した導体の番号を示し、 $K_r$ 、或いは  $K_x$  の値はくびれ部が無く表皮効果が無いとしたときの値を基準に取っている。図4から  $h=2$  cm と小さい場合でも  $K_r$  の最大値は  $2.0$  となっており、二重かご形とすることによって、 $h$  が小さい場合でも、かなりの表皮効果が現われることが分かる。図4で  $h=6$  cm の場合、くびれ部位置  $h_n$  が  $19$  で最大となっているが、 $h$  を小さくすると、 $K_r$  が最大の  $h_n$  は小さくなり、相対的にくびれ部位置を深くした方が  $K_r$  が大きくなる事が分かる。

【0016】二重かご形の導体の幅  $W$  とくびれ部の幅  $W_n$  の比を変えた場合の  $K_r$  の値を図6に示す。図6は導体高さ  $h$  とくびれ部の高さ  $h_2$  の比  $h_2/h=0.05$ 、と

し  $h_n$  を 16 と 18 の場合について、導体の巾  $W$  とくびれ部の巾  $W_n$  との比  $W/W_n$  を変化させた場合の  $K_r$  の値を計算した結果を示すものである。図 6 より  $W/W_n$  が大きくなるにつれて  $K_r$  は急激に大きくなり、 $h = 2$  cm の場合でも  $W/W_n = 20$  のときの  $K_r$  は略 4 くらいになることが分かる。

【0017】逆 T 形で上側導体幅  $W_h$  と下側導体幅  $W_l$  の比を変えたときの  $K_r$  を  $h_n$  をパラメータとして求め図 7 に示す。図 7 では導体高さ  $h = 1.5$  cm、電源周波数  $f = 60$  Hz としたが、 $W_h/W_l$  が小さいほど  $K_r$  は大きくなる傾向が有り、 $h_n = 8$ 、 $W_h/W_l = 0.1$  の意味は第 1 ～ 第 7 導体までは導体幅が広く  $W_l$ 、第 8 導体 ～ 第 20 導体までは導体幅が  $W_l$  の  $1/10$  に狭くなることを示している。

【0018】逆 T 形の導体幅が狭くなる導体番号  $h_n$  に対する  $K_r$  を  $h$  をパラメータとして求め、図 8 に示す。図 8 から  $K_r$  は  $h_n$  に対して極大値を持ち、 $h$  が小さくなるにつれて  $K_r$  が最大になる  $h_n$  は小さくなる傾向が見られる。

【0019】各種の導体形状の  $K_r$  と導体高さ  $h$  との関係を整理して図 9 に示す。図 9 は各種導体形状でほぼ  $K_r$  が最大になる条件で計算した結果であるが、 $K_r$  は逆 T 形が最も大きく、二重かご形、台形の順でとなっていることが分かる。

【0020】又、図 10 は最近製造された 21 機種のかご形誘導電動機の出力と回転子の形式及び導体高さ  $h$  の関係を調査した結果を纏めたもので、5.5 KW 以下の小形機では普通かご形が採用され、中間では二重かご形が使用されていることが分かる。図 6、図 7、図 8、図 9 等を総合して見ると、出力が 5.5 KW 以下で導体の高さ  $h$  を 1.5 乃至 2 cm の逆 T 形の場合に  $W_h/W_l$  を 0.1 以下とし、導体巾が狭くなる位置を導体高さ  $h$  に対し 0.35  $h$  乃至 0.5  $h$  とするのが良く、二重かご形の場合には導体の高さ  $h$  を 1.5 乃至 2 cm の場合に導体の巾  $W$  とくびれ部の巾  $W_n$  との比  $W/W_n = 20$  とした場合にくびれ部の高さを 0.8  $h$  より 0.9  $h$  とするのが良い。

【0021】

【発明の効果】本発明になる誘導電動機のかご形回転子は、導体の断面形状を上記のような二重かご形或いは逆 T 形とすることにより、5.5 KW 以下で導体高さが 2

cm 以下程度の小形電動機においても表皮効果を大きくして起動特性を改善することが出来る効果が有る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に成るかご形回転子の導体の逆 T 形断面形状を示す断面図である。

【図 2】本発明に成るかご形回転子の導体の二重かご形導体の形状を示す断面図である。

【図 3】本発明になるかご形回転子の解析に使用する矩形断面導体の電流と洩れ磁束との関係を示す説明図である。

【図 4】二重かご形回転子においてくびれ位置  $h_n$  と抵抗増加率  $K_r$  との関係を示す図である。

【図 5】二重かご形回転子においてくびれ位置  $h_n$  とリアクタンス  $K_x$  の減少率との関係を示す図である。

【図 6】二重かご形回転子において導体の巾  $W$  とくびれ部の巾  $W_n$  との比に対する抵抗増加率  $K_r$  との関係を示す図である。

【図 7】逆 T 形の上側導体の巾  $W_h$  と下側導体の巾  $W_l$  との比に対する抵抗増加率  $K_r$  との関係を示す図である。

【図 8】逆 T 形の導体巾が狭くなる位置  $h_n$  と抵抗増加率  $K_r$  との関係を示す図である。

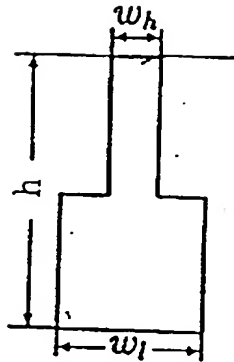
【図 9】各種導体形状において導体高さ  $h$  に対する抵抗増加率  $K_r$  との関係を示す図である。

【図 10】最近製造されたかご形誘導電動機の出力と回転子の形式及び導体高さ  $h$  との関係を示す図である。

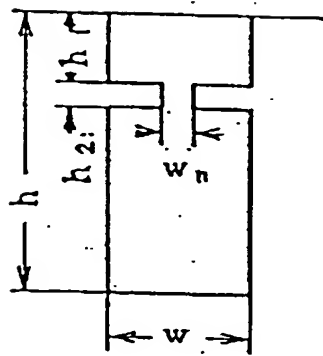
【符号の説明】

$h$	導体高さ、cm
$h_n$	くびれ位置
$W$	導体巾、cm
$W_n$	くびれ部空隙長、cm
$W_h$	上部導体巾、cm
$W_l$	下部導体巾、cm
$N$	導体分割数
ドット $I_n$	第 $n$ 番目導体の複素数表示の電流
$f$	電源周波数、Hz
$r$	1 分割導体の抵抗 オーム
$x$	1 分割導体のリアクタンス オーム
$K_r$	抵抗増加係数
$K_x$	リアクタンス減少係数
$D$	円形導体の直径、cm
$G$	台形導体の勾配

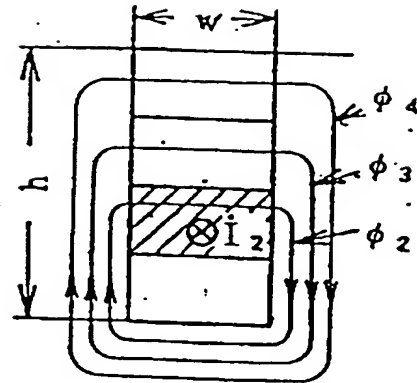
【図1】



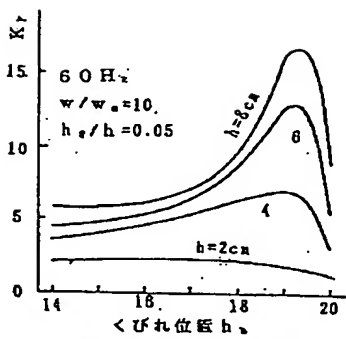
【図2】



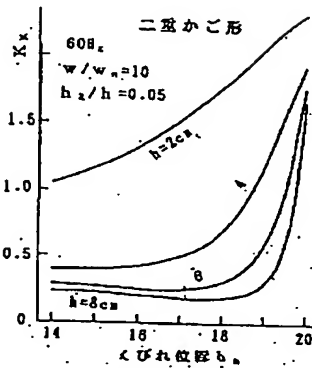
【図3】



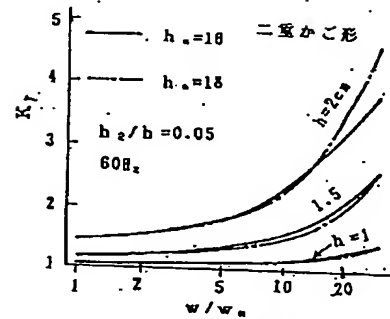
【図4】

二重かご形のくびれ位置  $h_2$  と  $K_r$  の関係

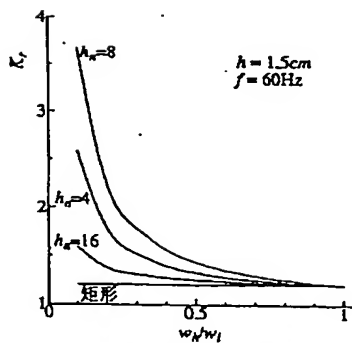
【図5】

 $h_2$  と  $K_r$  の関係

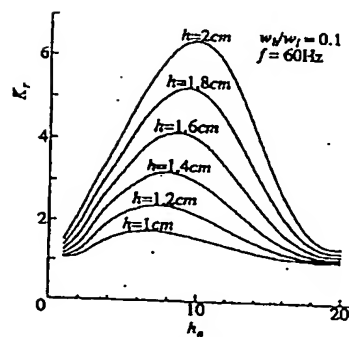
【図6】

 $K_r$  と漏れ磁束空隙長の比 ( $w/w_n$ ) の関係

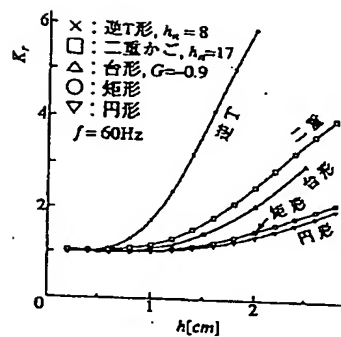
【図7】

逆T形の  $w_n/w_l$  と  $K_r$  の関係

【図8】

逆T形の  $h_n$  と  $K_r$  の関係

【図9】

各種導体形状の  $K_r$  の比較

【図10】

